



**LOS LIBERTADORES**  
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN  
MOTOR DIESEL

CESAR ARIAS ARIAS  
JAIRO ANDRES PEREA  
IVAN BELTRAN BUITRAGO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS  
BOGOTÁ D. C.  
2018

**ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN  
MOTOR DIESEL**

---

**ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN  
MOTOR DIESEL**

**CESAR ARIAS ARIAS  
JAIRO ANDRES PEREA  
IVAN BELTRAN BUITRAGO**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
ingeniero mecánico.

Director:  
**ING. JESUS MANUEL GUTIERREZ BERNAL  
MAGISTER EN INGENIERÍA DE MATERIASLES**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS  
BOGOTÁ D.C  
2018**

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

## Dedicatoria

A mis padres y hermanos, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

Cesar Arias Arias.

A Dios por darme salud y sabiduría para llegar hasta este punto de mi carrera profesional, a mis padres Jairo Perea e Ines Rojas por ser un apoyo incondicional y por ser mi musculo de lucha y motivación dia tras dia, a mis hermanos Diana, Miguel, y Daniel Perea Rojas por siempre estar pendientes de mi proceso, brindándome su compañía en todo momento y a mi novia Adriana Gutierrez por haber hecho parte de mi desarrollo y formación como ingeniero mecanico.

Jairo Andres Perea.

Dedico mi trabajo de grado en primera medida a mi familia, como apoyo y motivación constante para lograr un objetivo específico, ser ingeniero mecánico, también lo dedico a todas aquellas personas que hicieron parte de mi proceso académico, como soporte, guías y colaboradores para continuar en este proceso.

Ivan Beltran Buitrago.

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

## **Agradecimientos**

A nuestros directores de proyecto Jose David Castro Castro y Jesus Manuel Gutierrez Bernal por su ayuda en la construcción de esta tesis.

A la fundación Universitaria Los Libertadores por darnos la oportunidad de graduarnos como Ingenieros Mecánicos.

Al grupo de profesores que aportaron su conocimiento para el desarrollo de nuestra carrera

A todos nuestros compañeros por estar con nosotros a lo largo de este camino y brindarnos su apoyo incondicional.

# **ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL**

---

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

## Resumen

En este proyecto se realizó el diagnóstico de corrosión que se presentó en un conjunto de válvulas de admisión y escape de un motor diesel. Para llevar a cabo el análisis, se realizó una inspección visual del objeto de estudio, con apoyo de técnicas de caracterización como la microscopía óptica y medición de dureza. Los análisis de las muestras tomadas ayudaron a recopilar evidencias para aclarar el panorama general de la raíz de la falla. Después de estudiar la información recolectada, se concluye que la válvula falló por corrosión en forma de picaduras ocasionadas por el entorno al cual estaba expuesto. Esta clase de estudios ayuda a definir parámetros de diseño para evitar fallas en máquinas y estructuras, así como crear un historial de fallas con causas definidas que servirán como apoyo a futuros proyectos.

**Palabras clave:** Análisis de falla, inspección visual, microestructura, microscopía .

## Abstract

In this project, the diagnosis of corrosion found in a valve of a diesel engine was made. To do this, a visual inspection of the object of study was carried out, with the support of characterization techniques such as optical microscopy and hardness measurement. . The analyzes of the samples also help to gather evidence to clarify the general picture of the root of the fault. After studying the information collected, it is concluded that the valve communicates corrosion in the form of bites caused by the environment to which it was already. This type of studies helps to define the design parameters to avoid faults in machines and structures, as well as a history of failures with the defined causes that will serve as support for future projects.

**Keywords:** Failure analysis, visual inspection, microstructure, microscopy.

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

## Contenido

Dedicatoria.....	III
Agradecimientos .....	IV
Resumen .....	<u>VI</u>
Abstract .....	<u>VI</u>
Lista de Ilustraciones.....	IX
Lista de tablas .....	<u>IX</u>
Lista de diagramas.....	<u>XI</u>
Introducción .....	1
1   Objetivos .....	2
1.1   Objetivo general .....	2
1.2   Objetivos específicos .....	2
2   Marco teórico .....	3
2.1   Definición de valvulas y comportamiento mecanico .....	3
2.2   Corrosión .....	5
2.3   Corrosión por picaduras .....	5
2.4   Corrosión por grietas o hendiduras.....	7
2.5   Corrosión intergranular .....	8
3   Desarrollo experimental .....	9
3.1   Metodología .....	10
3.2   Inspección visual .....	12
3.2.1   Inspección visual de válvulas de admisión y escape .....	12
3.3   Datos obtenidos del laboratorio .....	13
3.3.1   Prueba Tafel.....	13
3.3.2   Prueba inmersión.....	<u>¡Error! Marcador no definido.</u>
3.3.3   Prueba de dureza Rockwell C.....	<u>¡Error! Marcador no definido.</u>

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

3.4	Diagnóstico.....	25
4	Conclusiones .....	25
5	Bibliografía.....	26



# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

## Lista de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. VALVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE.	4
ILUSTRACIÓN 2. CORROSIÓN POR PICADURA EN SUPERFICIE METÁLICA.	6
ILUSTRACIÓN 3. FRACTOGRAFÍA DONDE SE EVIDENCIA LA CORROSIÓN POR PICADURA.	6
ILUSTRACIÓN 4. CORROSIÓN POR HENDIDURAS EN SUPERFICIE METÁLICA..	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.7</b>
ILUSTRACIÓN 5. FRACTOGRAFÍA DONDE SE EVIDENCIA LA CORROSIÓN POR GRIETAS O HENDIDURAS	7
ILUSTRACIÓN 6. FROCTOGRAFÍA DONDE SE EVIDENCIA LA CORROSIÓN INERGRANULAR	8
ILUSTRACIÓN 7. FOTOGRAFÍA DONDE SE EVIDENCIA EL CORTE TRANSVERSAL.	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.10</b>
ILUSTRACIÓN 8. FOTOGRAFÍA DONDE SE EVIDENCIA EL CORTE EN 4 PARTES IGUALES.	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.10</b>
ILUSTRACIÓN 9. FOTOGRAFÍA DE EQUIPO DE PULIDO DE DOBLE DISCO PARA ALISTAMIENTO DE PRUEBA METALOGRÁFICA.	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.11</b>
ILUSTRACIÓN 10. FOTOGRAFÍA CAJA CON PROBETAS CON GEL SILICA.	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.12</b>
ILUSTRACIÓN 11. GRAFICA PARA EL PROCESO DE ANÁLISIS DE CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA ACUOSA.	14
ILUSTRACIÓN 12. PLANO DE ENSAMBLE DE LA PROBETA.	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.15</b>
ILUSTRACIÓN 13. FOTOGRAFÍA DE EMSAMBLE DE PROBETA INTERIOR DE LA CELDA FARADAY	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.16</b>
ILUSTRACIÓN 14. GRAFICA DE VALORES EN PROGRAMA GAMRY	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.16</b>
ILUSTRACIÓN 15. GRAFICA TAFEL DE ESCALA LOGARÍTMICA	<b>1¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.17</b>
ILUSTRACIÓN 16. SUPERPOSICION GRAFICA TAFEL	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.17</b>
ILUSTRACIÓN 17. GRAFICO TASA DE CORROSION EN MILÉSIMAS POR AÑO	<b>1719</b>
ILUSTRACIÓN 18. RECCION ANÓDICA Y CATODICA	19
ILUSTRACIÓN 19. AREA DE ESTUDIO DE LA VALVULA	20
ILUSTRACIÓN 20. BALANZA ANALITICA OHAUS	20
ILUSTRACIÓN 21. FOTOGRAFIA PROBETAS INMERSAS EN ACPM	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.21</b>
ILUSTRACIÓN 22. FOTOGRAFIA LAVADO DE PROBETA	<b>2421</b>
ILUSTRACIÓN 23. FOTOGRAFIA JUAGADO DE PROBETA	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.21</b>
ILUSTRACIÓN 24. FOTOGRAFIA SECADO DE PROBETA	21
ILUSTRACIÓN 25. GRAFICA PERDIDA DE MASA VS TIEMPO PROBETAS.	23

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

ILUSTRACIÓN 26. *PUNTOS DE MEDICIÓN DE DUREZA EN MORDAZA PARA PRENSA DE TALLER.*

24

## Lista de tablas

TABLA 1. <i>RESULTADOS DE ANÁLISIS POTENCIODINAMICO DE CORROSIÓN</i> .....	17
TABLA 2. <i>PERDIDA DE MASA PROBETAS</i> .....	<del>25</del> 22
TABLA 3. <i>PRUEBAS DE DUREZA ROCKWELL C</i> .....	<del>25</del> 23
TABLA 4. <i>PROPIEDADES MECÁNICAS CROMO VANADIO</i> .....	24
TABLA 5. <i>DIAGNÓSTICO DE CAUSA DE CORROSIÓN</i> .....	25

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

## Lista de diagramas

DIAGRAMA 1. FLUJOGRAMA DE EXPERIMENTACIÓN DE ESTE PROYECTO.....	9
---	---

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

## Introducción

Las fallas en elementos mecánicos ha sido una de las ramas que más se ha estudiado en la ingeniería mecánica con el fin de evitar daños en las máquinas. Esto tiene gran importancia en la sociedad industrializada ya que contribuye a detectar las causas de falla de manera metódica y crear un conocimiento a como se debe prevenir fallas que pueden ocasionar millonarias pérdidas de dinero, así como un aumento en la calidad de las operaciones de las diversas máquinas que satisfacen la variedad de necesidades que tenemos en la actualidad.

En este proyecto, se trazó como objetivo identificar la causa raíz de corrosión de dos válvulas de admisión y escape de un motor diésel.

Para diagnosticar las fallas presentadas, se emplearon equipos de la Fundación Universitaria Los Libertadores, el microscopio metalográfico, que permitió reconocer la microestructura de los materiales que componen los diversos objetos de estudio, el durómetro Rockwell, con el cual se puede hacer una valoración en cuanto a dureza y esfuerzo que soportan los materiales, el potenciometro electrónico requerido para controlar una celda de tres electrodos y ejecutar la mayoría de los experimentos electroanalíticos. Con una inspección visual detallada, una evaluación de las condiciones de trabajo de las partes estudiadas y las herramientas antes mencionadas, se realizaron los análisis correspondientes para discernir las posibles causas raíz de falla de cada uno de los elementos.

# **ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL**

---

## **1 Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Realizar el análisis de corrosión de una válvula de aleación cromo- vanadio perteneciente a un motor diesel.

### **1.2 Objetivos específicos**

Determinar las características micro estructurales y de dureza del material de estudio antes y después de ser expuesto al diésel comercial.

Analizar los efectos corrosivos que provoca el diésel comercial en el material de prueba mediante pruebas de inmersión estática, espectroscopia por impedancia electroquímica y polarización potenciodinámica.

## **2 Marco teórico**

### **2.1 Definición de válvulas y comportamiento mecánico.**

Las válvulas de escape y admisión cierran herméticamente la cámara de combustión y controlan el reciclaje de gases en el motor, estas son sometidas a elevados esfuerzos térmicos, mecánicos donde están expuestas a la corrosión. El esfuerzo mecánico se origina como consecuencia del doblamiento del platillo de la válvula a causa de la presión de encendido y por el fuerte impacto que éste recibe al cerrarse. El espesor y la conformación del platillo de la válvula, y la selección adecuada del material reducen estos esfuerzos a un nivel aceptable. La temperatura de la válvula de escape aumenta todavía más durante la exhalación de los gases de escape calientes. El enfriamiento de las válvulas se efectúa sobre todo por la disipación de calor a través del inserto para asiento de válvula en el punto muerto superior del cilindro. Una parte menor del calor se disipa a través de la guía de válvula hacia la culata. Las válvulas de admisión alcanzan temperaturas de 300°C a 550°C aproximadamente, mientras que las temperaturas de las válvulas de escape pueden llegar hasta 1.000°C, ("Válvulas · Motorservice," n.d.) adicional a las altas temperaturas de combustión que soportan las válvulas se suman la interacción con el combustible, cuya reacción química al entrar en la cámara de combustión interactúa con las válvulas que con el pasar del tiempo y del trabajo mecánico que realiza el motor, las válvulas se ven sometidas a desgaste por corrosión, dicha corrosión va generando mínimos desprendimientos de material y o pérdida de masa que deja como consecuencia fallas en el sentado de las válvulas y pérdida de compresión en el motor, en especial la válvula de escape por ser la que soporta mayores temperaturas al ser el componente mecánico que dirige los gases de la combustión hacia el exosto.

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

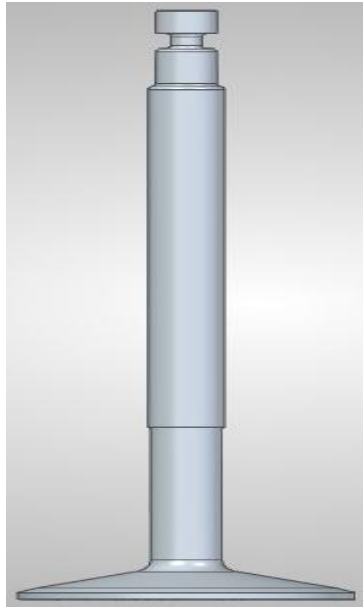


Ilustración 1. Válvulas de admisión y escape  
*Fuente (Propia)*

En metales libres de fases secundarias, una probeta se puede estriccionar hasta reducir el valor de su área hasta en un 100%. Esta deformación produce formas de cuchillos o bandas apiladas en planos de deslizamiento.

Los materiales de ingeniería normalmente contienen partículas secundarias en grandes cantidades, que pertenecen a elementos usados para aleaciones que mejoran sus propiedades mecánicas, térmicas y químicas. Estas partículas se clasifican según su tamaño:

- Partículas visibles al microscopio óptico: Poseen tamaños variables de hasta 20 micrómetros. Consisten en inclusiones no metálicas adicionadas en aceros y aleaciones metálicas para mejorar su colabilidad, maquinabilidad o afinar el grano. Ejemplo de estos son los carburos, usados para mejorar las propiedades de algunos aceros de herramientas.
- Partículas de tamaño mediano: Su tamaño comprende entre 50 y 500 nm, solamente visibles al microscopio electrónico. Normalmente están compuestos de aleaciones duras, esenciales para la obtención de mejoras en las propiedades mecánicas como los aceros microaleados de endurecimiento por dispersión.

- Partículas de tamaño pequeño: Visibles al microscopio electrónico. Su tamaño puede variar entre 5 y 50 nm. Estas partículas se producen en el endurecimiento de aleaciones metálicas durante procesos de tratamientos térmicos, sobretodo en procesos de endurecimiento estructural.

## **2.2 Corrosión**

La corrosión se define como el daño de un material por un ataque electroquímico. Este daño es de carácter oxidante y la velocidad de daño depende de la exposición a la sustancia oxidante. La reacción ocurre cuando una corriente de electrones se establece debido a la diferencia de potencial entre los materiales que interactúan.(A.Schweitzer, 2007)

Existen dos grandes grupos de corrosión, el primer grupo es la corrosión general o uniforme, este tipo de corrosión se produce por una pérdida regular de material superficial, en esta se estudia los ambientes corrosivos que hay, ejemplo, atmosférica, marina, industrial, etc. El segundo grupo se denomina localizada y estudia la pérdida de material en un área discreta, por ejemplo, corrosión por fisuras o “Crevice”, Corrosión por picadura o “Pitting” y la corrosión microbiológica.

Para efectos de este proyecto, estudiaremos la corrosión por picadura o “Pitting”.

Cuando la grieta crece por coalescencia de microhuecos, se evidencia un rápido crecimiento por el centro de la placa, debido a una mayor tensión. Esta carga varía a lo largo del espesor del material, produciendo patrones de labios de cortadura, característica principal de una falla dúctil.(Ortiz, 2009)

### **Algunos tipos de corrosión**

## **2.3 Corrosion por picaduras**

La corrosión por picadura ocurre cuando una reacción química cruza la capa de pasivación que poseen los metales en proceso de oxidación, debido a una descomposición de la película en presencia de sustancias aniónicas agresivas (usualmente, sustancias con presencia de cloruros). La velocidad de degradación



## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

de un metal varía con el logaritmo de la concentración de cloruro existente en el punto de falla. Las capas de pasivación ocurren de forma natural para proteger la superficie del metal pero cuando la corrosión cruza esta capa, ocasiona la disolución del metal subyacente. (Ortiz, 2009)

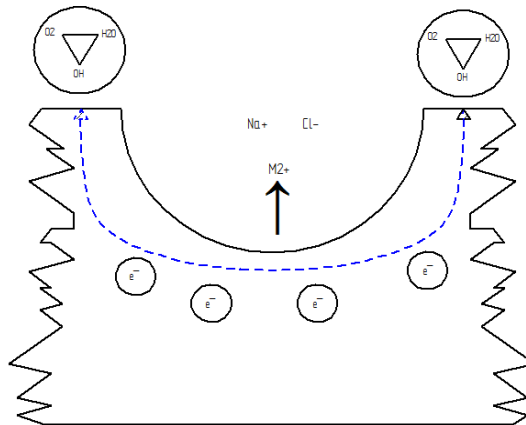


Ilustración 2. corrosión por picadura en superficie metálica.<sup>1</sup>  
Fuente (Propia)

Las picaduras por corrosión son auto catalíticas, lo que significa que una vez creada la perforación, las condiciones locales se alteran de tal forma que la velocidad de corrosión del metal aumenta. Estudios revelan que el metal se disuelve en el agujero mientras se mantenga un alto grado de acidez en el cráter.

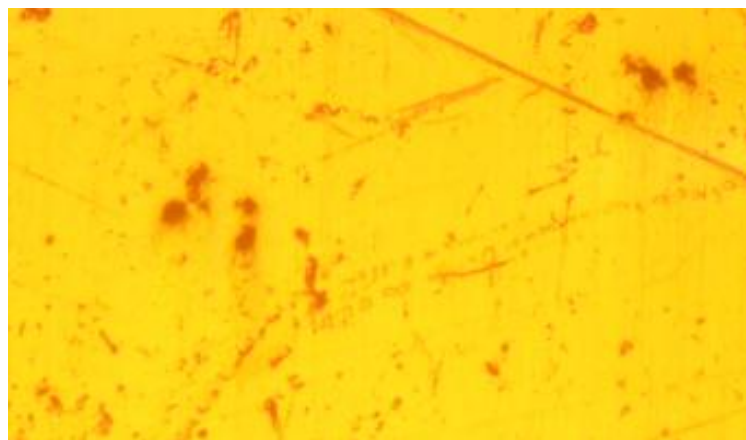


Ilustración 3. Fractografía donde se evidencia la corrosión por picadura.  
Fuente (Propia)

## **2.4 Corrosión por grietas o hendiduras**

La corrosión por grietas o hendiduras es un tipo de corrosión localizada que se puede presentarse en zonas donde se estancan soluciones. De manera sencilla se puede definir que este tipo de corrosión como el ataque que ocurre cuando una parte superficial del metal esta en un ambiente rigido o protegido y el resto del metal esta espuesto a un gran volumen de electrolítico o solución. Para que este tipo de de corrosión se desarrolle, la grieta debe ser lo suficientemente ancha como para que la solución pueda penetrar en ella y al mismo tiempo suficientemente estrecha como para mantener el liquido estancado. En la ilustración 3, se obeserva el ataque de los cloruros a una superficie de metal.

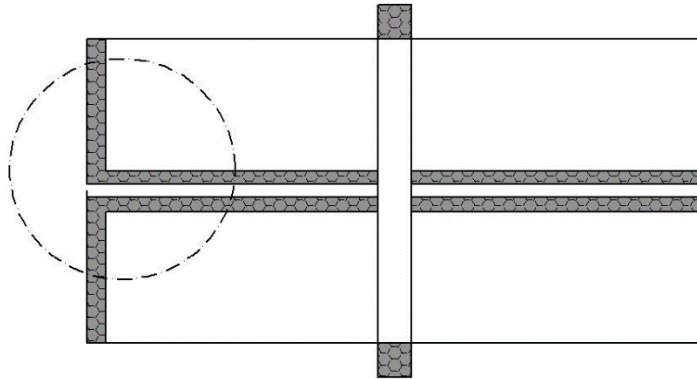


Ilustración 4.corrosión por hendiduras en superficie metálica.  
*Fuente (Propia)*

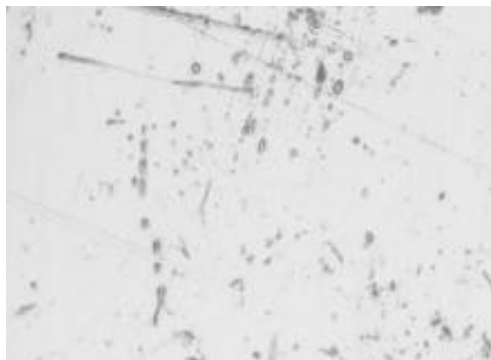


Ilustración 5. Fractografía donde se evidencia la corrosión por grietas o endiduras.<sup>2</sup>  
*Fuente (Propia)*

## **2.5 Corrosión intergranular**

La corrosión intragranular es un tipo de corrosión localizada a los límites de grano que experimenta un deterioro, regularmente en un metal los límites de grano son un poco más reactivos que su matriz; pero en determinadas circunstancias la reactividad aumenta provocando la corrosión intergranular, la cual ocasiona la pérdida de la resistencia de la aleación y su desintegración.

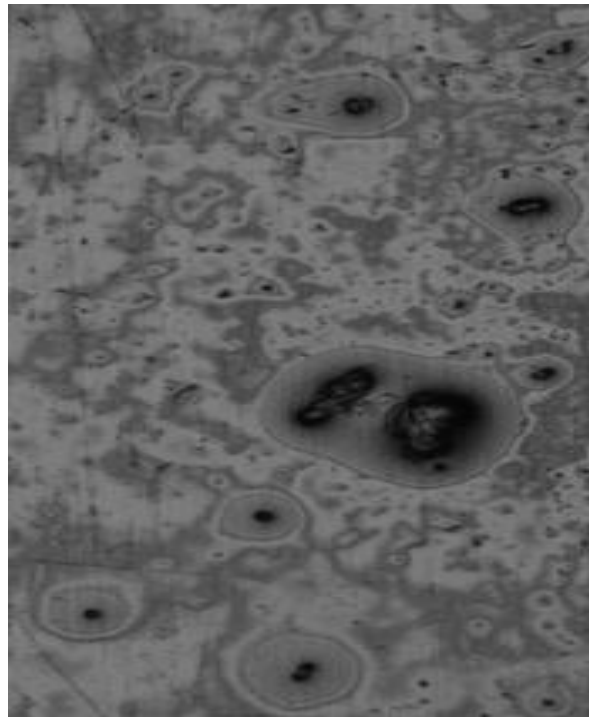


Ilustración 6. Froctografía donde se evidencia la corrosión intergranular.  
*Fuente (Propia)*

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

## 3 Desarrollo experimental

Para el análisis de falla, es necesario usar dos herramientas; una es la inspección visual y la otra es la metalografía. La inspección visual nos ayuda a localizar partes donde las fallas inician o terminan, oxidación de piezas, cambios de materiales, deformaciones, defectos que no son necesarios observar en el microscopio. El estudio metalográfico tiene como finalidad estudiar la estructura de los metales y sus aleaciones para poder caracterizarlo de acuerdo a su composición química, forma estructural y propiedades mecánicas. El uso de microscopio con aumentos entre 50 y 1000X se usan para el estudio de esta naturaleza y con la ayuda de una solución reactiva, se puede evidenciar la microestructura de un metal. Para la mayoría de los aceros, se utiliza ácido nítrico o Nital como solución reveladora. También es necesario el uso de un durómetro Rockwell para establecer propiedades mecánicas de los objetos de estudio.

Para desarrollar la parte experimental de este proyecto, se planteó el procedimiento expuesto en el siguiente diagrama.

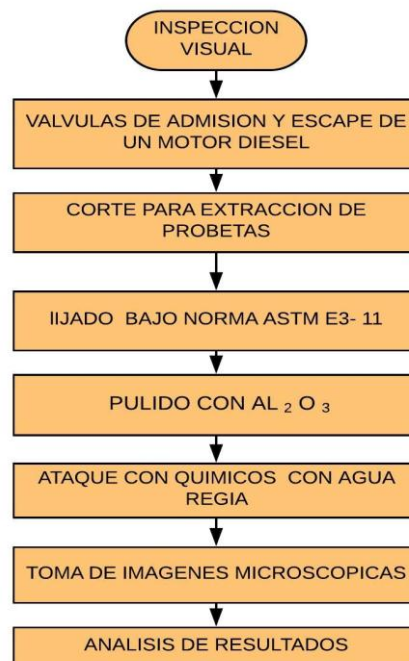


Diagrama 1. Flujograma de experimentación de este proyecto.

*Fuente (Propia)*

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

## 3.1 Metodología

Antes de realizar el análisis de corrosión las dos válvulas de admisión y escape se adecuaron las superficies de cada pieza a una serie de procesos de corte y de lijado de acuerdo a norma ASTM E3, iniciando con una serie de cortes en la válvula con el fin de obtener diferentes probetas para los análisis correspondientes a pruebas de corrosión, de la siguiente manera:

En el laboratorio, se realizó el siguiente procedimiento para toma de datos:

1. Inicialmente se realiza un corte transversal, con el fin de separar la cabeza de la válvula con respecto a su sección longitudinal como se muestra en la siguiente figura.

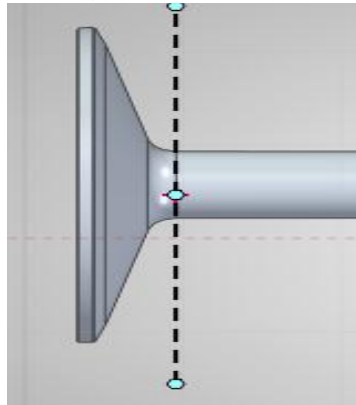


Ilustración 7. Fotografía donde se evidencia el corte transversal.

*Fuente (Propia)*

2. Para el segundo proceso de corte, se efectuó la división de la cabeza o platillo de la válvula en 4 partes iguales, de acuerdo a la siguiente figura.

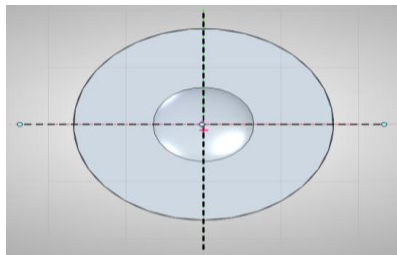


Ilustración 8. Fotografía donde se evidencia el corte en 4 partes iguales.

*Fuente (Propia)*

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

3. Posteriormente se realizó un proceso de lavado en cada una de las probetas previamente cortadas, con el fin de remover grasas, aceites y desechos, usando como solvente orgánico Ácido clorhídrico (6N HCl).
4. Se realizó el pulido de piezas con lijas de agua con tamaños de grano 80, 100, 150, 220, 400, 1000, 1200y 1500 en dirección perpendicular a las líneas del anterior lijado, con el fin de reducir irregularidades en la sección de corte, hasta obtener una superficie lo menos rayada posible.
5. En la máquina de pulido, se utilizó un paño con alúmina hasta obtener brillo espejo de la piezas, teniendo cuidado que la presión ejercida en la pieza no sea excesiva para evitar rayones no deseados. Esta operación se realizó a 182 revoluciones por minuto con constante suministro de una suspensión de alúmina con agua.



Ilustración 9. Fotografía de equipo de pulido de doble disco para alistamiento de prueba metalográfica.

*Fuente (Propia)*

6. Se realiza una capsula para introducir las probetas ya acabadas tipo espejo en gel silica cuyo objetivo es absorber la humedad en torno a las probetas.

# ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

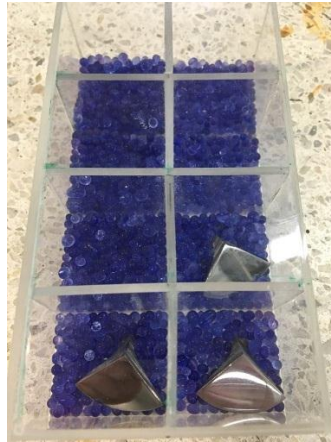


Ilustración 10. Fotografía caja con probetas con gel silica.  
*Fuente (Propia)*

7. Se capturan imágenes a diferentes aumentos con el microscopio óptico.
8. Se mide la dureza de las probetas en el durómetro Rockwell.

## 3.2 Inspección visual

### 3.2.1 Inspección visual de válvulas de admisión y escape

Con el fin de conocer mas a fondo un proceso corrosivo, se decidió tomar un conjunto de válvulas de admisión y escape de un motor Diesel, cuya inspección inicial demostró que las válvulas de escape presentaban mayor índice de desgaste debido a la interacción directa con las altas temperaturas de combustión.

De allí nació la necesidad de realizar diferentes tipos de análisis en donde se efectuó el debido corte y alistamiento de la superficie de los platillos de las válvulas partiendo de la norma ASTM 03.

Posteriormente se efectúa el análisis de inmersión de un tramo de la válvula en combustible Diesel con el fin de tomar medición en un rango de 48 horas, durante 17 días para determinar la pérdida de masa debido a la acción corrosiva del ACPM; luego se aplica en la misma probeta el análisis potencio dinámico de Tafel.

## **ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL**

---

En las probetas restantes se efectuaron análisis potencio dinámicos de Tael en ACPM sin inmersión y de igual manera se efectuaron pruebas potencio dinámicas en solución acuosa de NaCl cuya gráfica en solución salina demostró mayores picos de corriente, de pasividad pero a su vez mayor índice de corrosión determinada en milésimas de pulgada por año.

### **3.3 Datos obtenidos del laboratorio**

En este proyecto de grado, las piezas de estudio fueron llevadas al laboratorio de la Fundación Universitaria Los Libertadores, para realizar análisis de dureza y metalográficos y así determinar posibles cambios de microestructura, identificación de material y visualización de fallas. Estos ensayos se realizan bajo la luz de la norma ASTM E-301 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens.

Una vez se encuentran las probetas listas para análisis, se efectuaron las siguientes pruebas de TAFEL:

#### **3.3.1 PRUEBA DE TAFEL**

##### **SOLUCION DE CLORURO DE SODIO AL 3.5%**

Por medio de la prueba de TAFEL se puede determinar la velocidad de corrosión de un material de forma instantánea.

En esta investigación se emplearon dos piezas metálicas de CROMO-VANADIO, cuya área analizada se sometió en solución acuosa de Cloruro de sodio al 3.5%, mediante la extrapolación de las pendientes de TAFEL.

##### **CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA ACUOSA.**

Para generar acción de corrosión electroquímica se hace necesario aplicar 4 componentes que interactúan entre sí, dichos componentes son:

- Un electrolito (solución acuosa).
- Un ánodo.
- Un cátodo.
- Un conductor eléctrico de metal.



## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

Cuando estos componentes interactúan, se genera un flujo de corriente por medio del electrolito a los conductores eléctricos que se empalman entre el ánodo y el cátodo. Si se llegase a perder la señal eléctrica o dado el caso que falte uno de los componentes, el proceso de corrosión se detendrá.

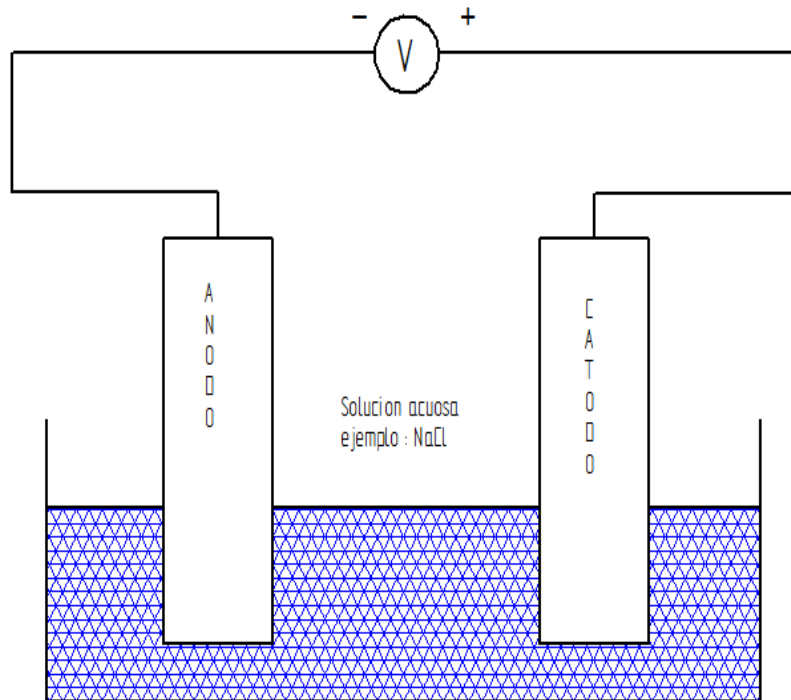


Ilustración 11. Grafica para el proceso de análisis de corrosión electroquímica acuosa.

*Fuente (Propia)*

### MATERIALES:

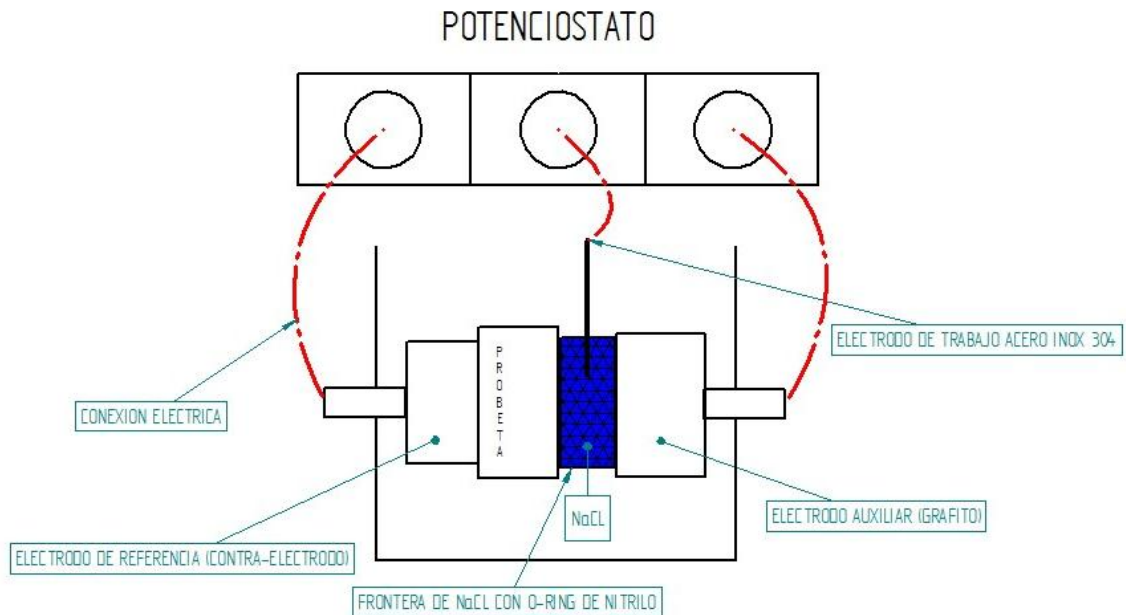
- Electrodo de trabajo: lamina de acero Inoxidable 304.
- Electrodo de referencia.
- Contra electrodo o electrodo auxiliar en grafito.
- Conexiones tipo caimán caimán.
- Celda de Faraday (para estabilizar y proteger campos eléctricos estáticos).
- Algodón
- Guantes

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

- Solución salina NaCl al 3.5%
- Potenciostato.
- Celda en acrílico.
- Jeringas de 1 CM, para inyectar la solución salina o el ACPM a través del O-RING a la probeta.

### PROCEDIMIENTO:

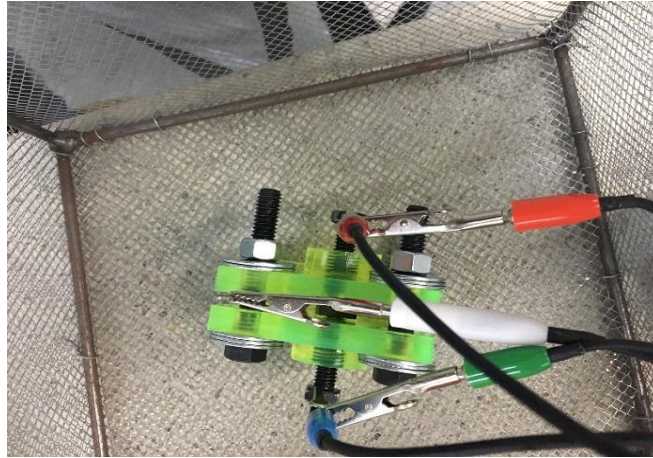
1. Usando guantes de Nitrilo durante toda la práctica, se inicia el proceso de limpieza de los electrodos, con jabón neutro y algodón, teniendo en cuenta que las piezas no deben tener contacto directo con la mano u otro agente externo que pueda contaminar los electrodos.
2. Se verifica que la probeta (pieza de válvula) que no contenga ningún tipo de contaminación y o líneas de rayado o desgaste ajenos al brillo espejo.
3. Se calibra y se inicia la estabilización del potenciostato 30 minutos antes de realizar el análisis, usando la celda de Faraday.
4. Se ensamblan los electrodos de acuerdo al siguiente plano como referencia.



*Ilustración 12. Plano de ensamble de la probeta.  
Fuente (Propia)*

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---



*Ilustración 13. Fotografía de ensamble de probeta interior de la celda faraday*  
Fuente (Propia)

5. Se verifica que las conexiones de los electrodos (referencia, de trabajo y auxiliar), se encuentren correctamente empalmados con el potencióstato:
6. Se enciende el potencióstato y se establecen las condiciones de prueba por medio del software de análisis de acuerdo a los siguientes valores:

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

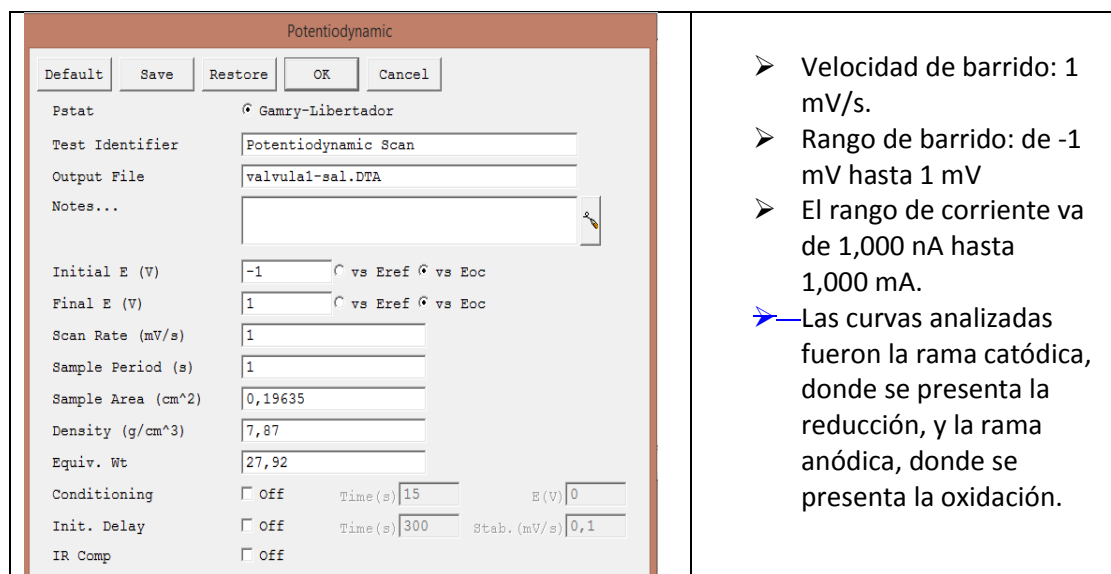


Ilustración 14. Grafica de valores en programa gamry  
Fuente (Propia)

7. Se inicia el programa de análisis, para obtener una gráfica de escala logarítmica de acuerdo a la siguiente imagen.

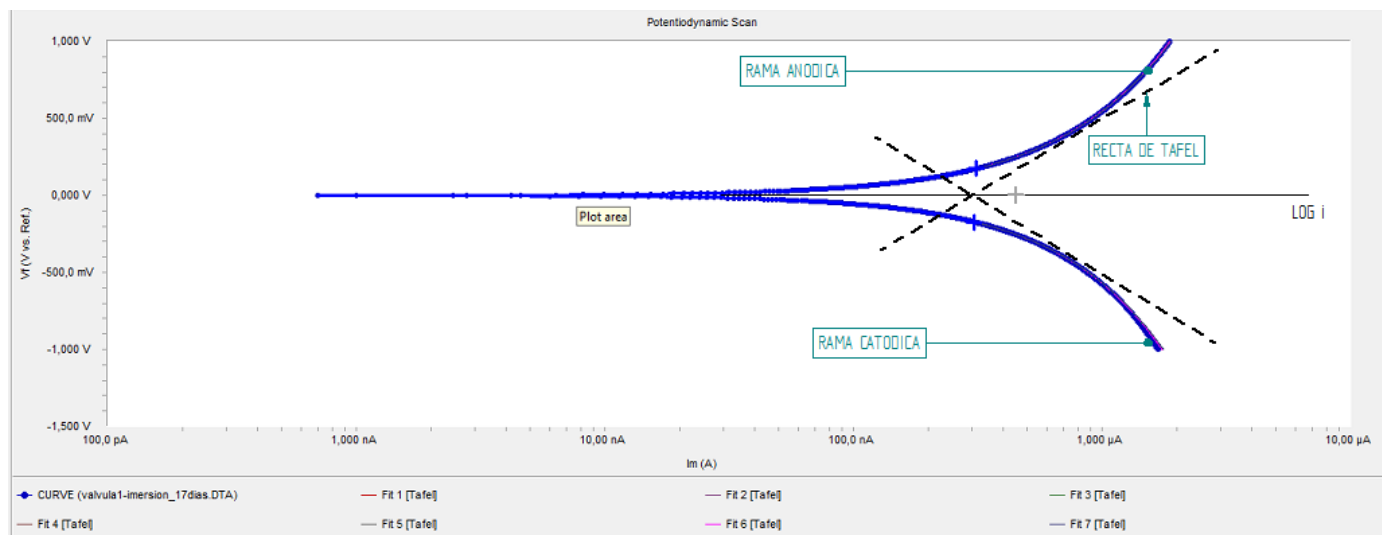
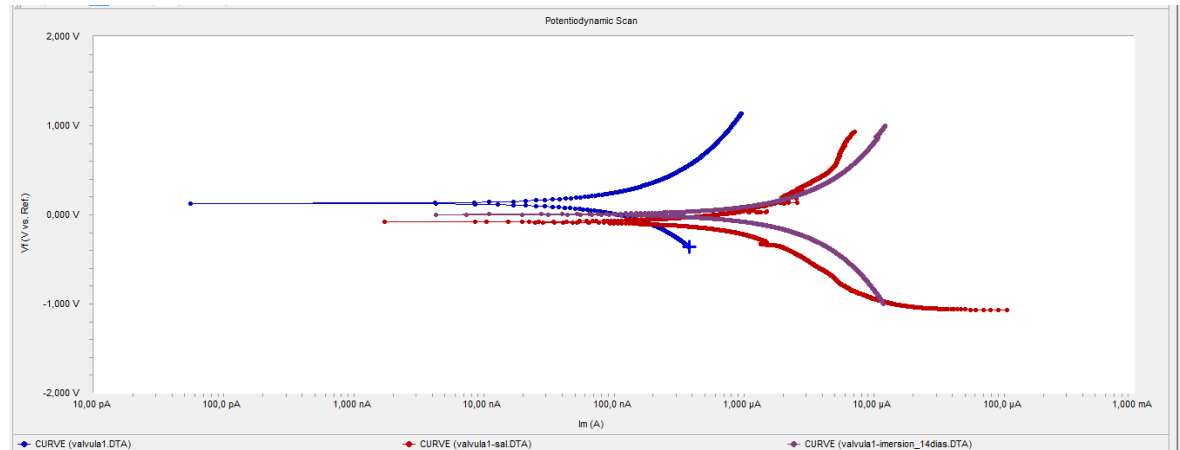


Ilustración 15. Modo de lectura de la grafica tafel  
Fuente (Propia)

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL



*Ilustración 16. Superposicion de graficas tafel  
Fuente (Propia)*

De acuerdo a los resultados de análisis, en la figura anterior se muestra la relación de corrosión de tres probetas, clasificadas en el siguiente orden:

Grafica azul: probeta con ACPM.

Grafica morada: probeta en inmersión de ACPM 14 días.

Grafica roja: probeta con NaCl.

En la gráfica anterior se pudo determinar que la probeta utilizada bajo análisis con NaCl muestra variación o picos de corriente y puntos de pasividad, puesto que en algunos puntos superficiales se presenta resistencia a la corrosión, sin embargo, la solución acuosa de NaCl genera mayor impacto de corrosión con respecto a las demás probetas.

**Resultados de Analisis Potenciodinámico de corrosión.**

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

# PROBETA.	TIPO DE MUESTRA	BETA A (Expresado en V/decada)	BETA C (Expresado en V/decada)	INTENSIDAD ELÉCTRICA Expresado en nanoamperios (nA) o Microamperios (μA)	POTENCIAL ELÉCTRICO Expresado en milivoltios (mV) o Microvoltios (μV)	TASA DE CORROSIÓN (Milesimas de pulgada por año mpy)
Probeta 1	Imersion 14 días ACPM	4,307	5,029	12,10 μA	4,5	28,06
Probeta 2	Imersion 17 días ACPM	5,689	6,952	2,430 μA	-180,0 μV	5,663
Probeta 3	Corrosion con NaCL	3,11E-01	3,60E-01	511,0 nA	-79,40 mV	1,188
Probeta 4	Corrosion con ACPM	1,86	2,471	386,0 nA	131,0 mV	8,97E-01

*Tabla 1. Resultados de análisis potenciodinamico de corrosión*

*Fuente (Propia)*

En relación a los datos de BETA A y BETA C, son valores que tienen como referencia a las pendientes de la línea puesto que al momento del análisis el software las simula como líneas y recrean las pendientes que en un instante dado se toman como base para calcular la corrosión y el potencial eléctrico.

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

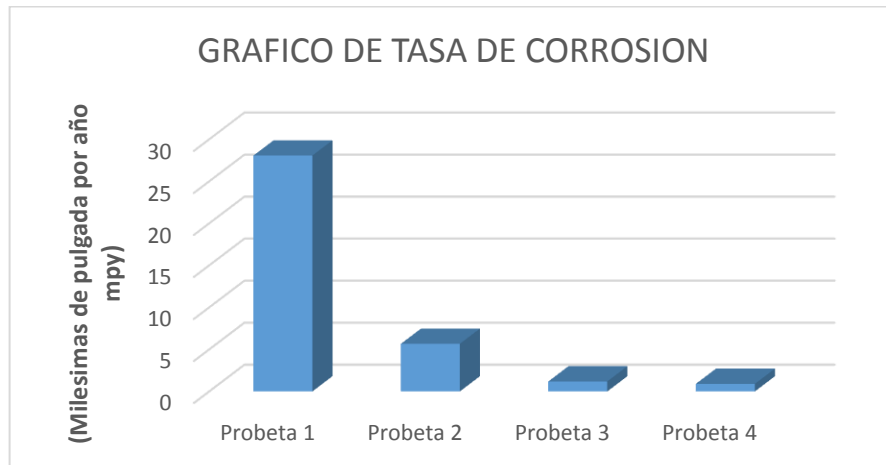


Ilustración 17. Gráfico tasa de corrosión en milésimas por año  
Fuente (Propia)

¿Qué ocurrió en el proceso de oxidación?

Un elemento metálico se degrada cuando en su estructura atómica, pierde electrones; dichos electrones desertan del átomo, dejando como consecuencia la formación de iones positivos también conocidos como cationes, de acuerdo al siguiente gráfico:

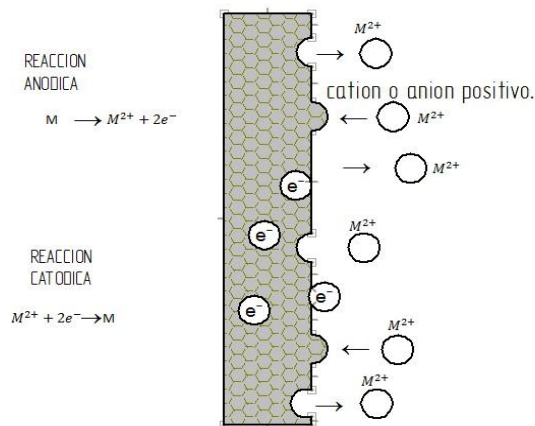
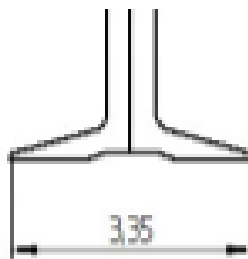


Ilustración 18. Reacción anódica y catódica  
Fuente (Propia)

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---



*Ilustración 19. Área de estudio de la válvula  
Fuente (Propia)*

### 3.3.2 PRUEBA DE INMERSIÓN

Se realiza la respectiva selección de 3 probetas, muestras, previamente pulidas a brillo espejo, a las cuales se le hace limpieza de impurezas y agentes contaminantes, verificando la metalografía de cada una de ellas, para luego llevarlas a la balanza analítica Ohaus, tomando la masa inicial de cada una de ellas.



*Ilustración 20. Balanza analítica ohaus  
Fuente (Propia)*

Tomando recipientes de un volumen adecuado al tamaño de la pieza, muestra de válvula, los cuales son llenados de la cantidad necesaria de aceite combustible para motores (ACPM), para sumergir las probetas. Como se muestra en la figura.



## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---



*Ilustración 21. Fotografía probetas inmersas en ACPM*  
*Fuente (Propia)*

Se tomaron datos cada 48 horas, intentando que los mismos se puedan realizar en un mismo horario; para cada toma se deberá limpiar la probeta con jabón neutro, para no afectar la estructura del material, y limpiándola con un paño suave, dejándola lista para un nuevo registro de masa.



*Ilustración 22. Fotografía lavado de probeta*  
*Fuente (Propia)*

*Ilustración 23. Fotografía juagado de probeta*  
*Fuente (Propia)*

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---



*Ilustración 24. Fotografía secado de probeta  
Fuente (Propia)*

Este procedimiento se repite para un periodo de tiempo del 24 de septiembre del 2018 al 27 de octubre del mismo año.

fecha	tiempo transcurrido (días)	muestra 1 masa (g)	muestra 2 masa (g)	muestra 3 masa (g)
24/09/2018	0	3,9136	3,6835	3,8059
26/09/2018	2	3,9133	3,6833	3,8058
28/09/2018	4	3,9133	3,6833	3,8057
29/09/2018	5	3,9133	3,6832	3,8055
01/10/2018	7	3,9130	3,6830	3,8054
03/10/2018	9	3,9120	3,6827	3,8053
05/10/2018	11	3,9117	3,6825	3,8050
06/10/2018	12	3,9115	3,6823	3,8048
08/10/2018	14	3,9112	3,6821	3,8048
10/10/2018	16	3,9112	3,6820	3,8046
12/10/2018	18	3,9111	3,6820	3,8045
13/10/2018	19	3,9111		3,8044
17/10/2018	23	3,9110		3,8040
19/10/2018	25	3,9109		3,8037
20/10/2018	26	3,9109		3,8035
22/10/2018	28	3,9109		3,8034
24/10/2018	30	3,9108		3,8033

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

26/10/2018	32	3,9108	3,8032
27/10/2018	33	3,9108	3,8031

Tabla 2. Pérdida de masa probetas  
Fuente (Propia)

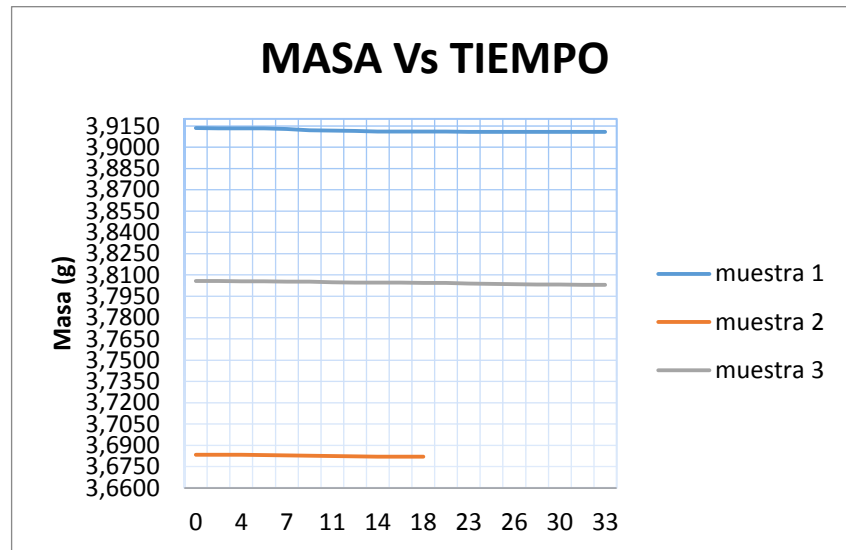


Ilustración 25. Gráfica pérdida de Masa Vs tiempo Probetas.  
Fuente (Propia)

Con estas imágenes podemos suponer que este material es AISI W1 y por información del handbook de metalografía posiblemente es una estructura con tratamiento térmico en salmuera.

### 3.3.3 Pruebas de dureza Rockwell C

Luego de esto, se hace toma de dureza a lo largo de la probeta de la mordaza (ilustración 23), obteniendo los siguientes datos.

Tabla 1. Medición de durezas de la probeta de la mordaza para prensa de taller.

PUNTO	DUREZA (HRC)
1	28
2	28
3	29

Tabla 3. Pruebas de dureza Rockwell C  
Fuente (Propia)



## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

Ilustración 26. Puntos de medición de dureza en mordaza para prensa de taller.  
Fuente (Propia)

La dureza promedio es 34.2 HRC (314.2 HRV), esto indica que el material no tuvo falla por cambio de estructura debido a cambios de temperatura, la dureza es uniforme en toda la probeta. Las estructuras vistas no presentan oclusiones, fisuras ni grietas internas, lo que indica que el material es homogéneo, y este es un indicio que la falla no fue inducida por defectos en el material sino por otras causas, de acuerdo a lo determinado en párrafos anteriores la falla en esta pieza sería por fatiga en el elemento.

CARACTERISTICA	CROMO	VANADIO
Símbolo químico	Cr	V
Número atómico	24	23
Grupo	6	5
Periodo	4	4
Aspecto	plateado metálico	metálico gris plateado
Densidad	7140 kg/m <sup>3</sup>	6110 kg/m <sup>3</sup>
Masa atómica	51.9961 u	50.9415 u
Radio medio	140 pm	135 pm
Radio atómico	166	171
Radio covalente	127 pm	125 pm
Estados de oxidación	6,3,2	2, 3, 4, 5
Óxido	ácido fuerte	Anfótero
Estructura cristalina	cúbica centrada en el cuerpo	cúbica centrada en el cuerpo
Estado	sólido	Sólido
Calor específico	450 J/(K·kg)	490 J/(K·kg)
Conductividad eléctrica	7,74·10 <sup>6</sup> S/m	4,89·10 <sup>6</sup> S/m
Conductividad térmica	93,7 W/(K·m)	30,7 W/(K·m)

Tabla 4. Propiedades mecánicas cromo vanadio.  
(fuente "► Cromo y Vanadio - Propiedades," n.d.)

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

### 3.4 Diagnóstico

De acuerdo a los datos obtenidos y análisis realizados, se puede generar la siguiente tabla de diagnóstico de las fallas.

ELEMENTO	DIAGNÓSTICO
VALVULA DE ADMISION Y ESCAPE	No se muestra visualmente impactos corrosivos en las probetas de las válvulas de admisión y escape, tanto en las pruebas de inmersión ni potencio-dinamicas realizadas, al realizar metalografia de las piezas después de cada prueba, se observan huellas de corrosión en el material, además de perdida de masa a travez del tiempo.

*Tabla 5. Diagnóstico de causa de corrosión  
Fuente (Propia)*

## 4 Conclusiones

4.1. Se encontró que el uso de ACPM ocasiona corrosión dentro de la pieza, pero que no es apreciable en el tiempo. A medida que se usa ACPM con la pieza dentro del mismo existio pérdida de peso en un tiempo mayor a 8 días. Los ensayos de Polarización potenciodinámica arrojaron que la velocidad de corrosión aumenta considerablemente con ese tiempo de inmersión. Al comparar el comportamiento del material en solución de NaCL al 3,5 % se encontró que el mismo sufre una alta degradación que comparada con el ACPM es bastante apreciable.

## ANÁLISIS DE CORROSIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISION Y ESCAPE DE UN MOTOR DIESEL

---

4.2. Se hizo uso de material bibliográfico de varias fuentes, como soporte de la investigación. Esta información es muy relevante debido a su gran aporte en el desarrollo del proyecto.

### 5 Bibliografía

► Cromo y Vanadio - Propiedades. (n.d.). Recuperado Noviembre 4, 2018, de <https://elementos.org.es/cromo-y-vanadio>

A.Schweitzer, P. (2007). *Fundamentals of metallic corrosion-Atmospheric and media corrosion of metals*. CRC Press. recuperado de [https://books.google.com.co/books/about/Fundamentals\\_of\\_Metallic\\_Corrosion.html?id=\\_6vNqSL16LsC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Fundamentals_of_Metallic_Corrosion.html?id=_6vNqSL16LsC&redir_esc=y)

Ortiz, J. L. (2009). Principios basicos de corrosión y sus prácticas de laboratorio.en *Tecnológico de Monterre* (p. 73 páginas). Tecnológico de Monterrey. Recuperado de <https://www.librosmexico.mx/libros/43438>

Válvulas · Motorservice. (n.d.). Recuperado Noviembre 4, 2018, from <https://www.ms-motorservice.com/es/productos-y-aplicaciones/productos-en-el-motor/valvulas/>